

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of: Takashi KANO, et al.

Serial No.: 09/532,775

Filed: March 22, 2000

For: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE



Group Art Unit: 2874

GAU 2874  
2/P Papers  
Leeds  
8/8/00

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Date: June 15, 2000

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**JAPANESE APPLICATION NO. 11/079471, Filed March 24, 1999**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said documents. In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, WESTERMAN, HATTORI,  
McLELAND & NAUGHTON

Donald W. Hanson  
Attorney for Applicants  
Reg. No. 27,133

RECEIVED  
JUN 19 2000  
TC 2800 MAIL ROOM

Atty. Docket No. 000352  
1725 K Street, N.W., Suite 1000  
Washington, DC 20006  
Tel: (202) 659-2930  
Fax: (202) 887-0357  
DWH/II



日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 3月24日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第079471号

出 願 人

Applicant (s):

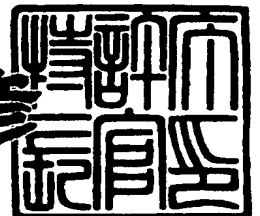
三洋電機株式会社

RECEIVED  
JUN 19 2000  
TC 2800 MAIL ROOM

2000年 3月17日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3016885

【書類名】 特許願

【整理番号】 NBA0991027

【提出日】 平成11年 3月24日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会  
社内

    【氏名】 狩野 隆司

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会  
社内

    【氏名】 大保 広樹

【特許出願人】

    【識別番号】 000001889

    【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100098305

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 福島 祥人

    【電話番号】 06-6330-5625

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 032920

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9403774

特平 11-079471

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層を含みかつホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも 1 つを含む第 1 の窒化物系半導体層上に、ストライプ状開口部を有する電流ブロック層が形成され、前記ストライプ状開口部内の前記第 1 の窒化物系半導体層上にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも 1 つを含む第 2 の窒化物系半導体層が形成され、前記電流ブロック層は、アルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなる第 1 の層と、インジウムを含む窒化物系半導体からなりかつ前記第 1 の層よりも小さなバンドギャップを有する第 2 の層との積層構造を含むことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記電流ブロック層の平均の屈折率は前記開口部内の前記第 2 の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さいことを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記第 1 の層の厚みが前記第 2 の層の厚みよりも厚いことを特徴とする請求項 2 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 前記電流ブロック層の平均のバンドギャップは前記活性層のバンドギャップとほぼ等しいか前記活性層のバンドギャップよりも小さいことを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】 前記電流ブロック層は、2 以上の前記第 1 の層と 1 以上の前記第 2 の層とが交互に積層されてなることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】 前記第 1 の窒化物系半導体層は、第 1 導電型のクラッド層、前記活性層および第 2 導電型の第 1 のクラッド層をこの順に含み、前記第 2 の窒化物系半導体層は、第 2 導電型の第 2 のクラッド層を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、BN（窒化ホウ素）、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）もしくはInN（窒化インジウム）またはこれらの混晶等のIII-V族窒化物系半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）からなる半導体レーザ素子に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、青色または紫色の光を発する半導体レーザ素子として、GaN系半導体発光素子の実用化が進んできている。光による情報の書き込み、あるいは読み出しを行う光メモリの中でも、光ディスクへの書き込みおよび光ディスクからの読み出しを行う光ディスクシステムの光源に半導体レーザ素子が多用されている。特にGaN系半導体レーザ素子は、次世代デジタルビデオディスク等の高密度光ディスクシステム用光源として期待が高まっている。

## 【0003】

図12は従来のGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。図12において、サファイア基板51上に、アンドープのGaN低温バッファ層52、アンドープのGaN層53、n-GaN層54、n-クラック防止層55、n-AlGaNクラッド層56、n-GaN光ガイド層57、InGaN多重量子井戸（MQW）活性層58が順に設けられている。

## 【0004】

さらに、活性層58上には、p-AlGaNキャリアブロック層59、p-GaN光ガイド層60およびp-AlGaN第1クラッド層61が順に設けられている。p-AlGaN第1クラッド層61上には、ストライプ状開口部を有するn-GaN電流ブロック層62が形成されている。ストライプ状開口部内のp-AlGaN第1クラッド層61上およびn-GaN電流ブロック層62上には、p-AlGaN第2クラッド層64およびp-GaNコンタクト層65が順に設けられている。

## 【0005】

p-GaNコンタクト層65からn-GaN層54までの一部領域がエッチン

グにより除去され、 $n$ -Ga $N$ 層 54 が露出している。 $p$ -Ga $N$ コンタクト層 65 の上面に  $p$  電極 66 が形成され、 $n$ -Ga $N$ 層 54 の露出した上面に  $n$  電極 67 が形成されている。

#### 【0006】

図 12 の半導体レーザ素子において、 $n$  電極 67 から供給される電子（負のキャリア）は、 $n$ -Ga $N$ 層 54、 $n$ -クラッド防止層 55、 $n$ -AlGa $N$ クラッド層 56、 $n$ -Ga $N$ 光ガイド層 57 を介して活性層 58 に注入される。また、 $p$  電極 66 から供給される正孔（正のキャリア）は、 $p$ -Ga $N$ コンタクト層 65、 $p$ -AlGa $N$ 第 2 クラッド層 64、 $p$ -AlGa $N$ 第 1 クラッド層 61、 $p$ -Ga $N$ 光ガイド層 60 および  $p$ -AlGa $N$ キャリアブロック層 59 を介して活性層 58 に注入される。

#### 【0007】

電流の流れをストライプ状に制限して、動作電流の低減と発光スポット位置の限定とを図るため、ストライプ状開口部 63 を有する  $n$ -Ga $N$ 電流ブロック層 62 が設けられている。 $n$ -Ga $N$ 電流ブロック層 62 は、活性層 58 へ流れ込む領域をほぼストライプ状開口部 63 下の領域に制限している。

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような従来の半導体レーザ素子においては、 $n$ -Ga $N$ 電流ブロック層 62 は、 $p$ -AlGa $N$ 第 1 クラッド層 61 および  $p$ -AlGa $N$ 第 2 クラッド層 64 に比べて屈折率が大きいため、光閉じ込めの効果を有さない。

#### 【0009】

半導体レーザ素子を実屈折導波型構造にして光閉じ込め効果を上げるためには、 $n$ -電流ブロック層を例えば  $n$ -AlGa $N$ で形成し、 $p$ -AlGa $N$ 第 1 クラッド層 61 および  $p$ -AlGa $N$ 第 2 クラッド層 64 よりも Al 組成比を大きくすることにより、 $p$ -AlGa $N$ 第 1 クラッド層 61 および  $p$ -AlGa $N$ 第 2 クラッド層 64 に比べて屈折率を小さくする必要がある。これにより、 $n$ -電流ブロック層の下部における活性層 58 の領域の実効屈折率がストライプ状開口

部 63 内の p-AlGaIn 第 2 クラッド層 64 の下部における活性層 58 の領域の実効屈折率よりも小さくなる。その結果、活性層 58 の中央部に光が閉じ込められる。しかしながら、その場合、p-AlGaIn 第 1 クラッド層 61 および p-AlGaIn 第 2 クラッド層 64 も n-AlGaIn で形成されているため、AlGaIn の膜厚が、p-AlGaIn 第 1 クラッド層 61 と n-AlGaIn 電流ブロック層と p-AlGaIn 第 2 クラッド層 64 を合わせたものとなる。このような Al 組成の大きな膜は、膜厚が厚くなり過ぎるとクラックが生じやすくなる。

#### 【0010】

本発明の目的は、熱安定性に優れかつクラックの発生が防止された電流ブロック層を有する半導体レーザ素子を提供することである。

#### 【0011】

また、本発明の他の目的は、熱安定性に優れクラックの発生が防止されかつ光閉じ込め効果が向上された電流ブロック層を備えた半導体レーザ素子を供給することである。

#### 【0012】

##### 【課題を解決するための手段および発明の効果】

第 1 の発明に係る半導体レーザ素子は、活性層を含みかつホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも 1 つを含む第 1 の窒化物系半導体層上に、ストライプ状開口部を有する電流ブロック層が形成され、ストライプ状開口部内の第 1 の窒化物系半導体層上にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムの少なくとも 1 つを含む第 2 の窒化物系半導体層が形成され、電流ブロック層は、アルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなる第 1 の層と、インジウムを含む窒化物系半導体からなりかつ第 1 の層よりも小さなバンドギャップを有する第 2 の層との積層構造を含むものである。

#### 【0013】

本発明に係る半導体レーザ素子においては、電流ブロック層の第 1 の層がホウ素およびアルミニウムの少なくとも一方を含む。それにより、実屈折率導波型構造の場合、電流ブロック層とストライプ状開口部内の第 2 の窒化物系半導体層との屈折率差を大きくすることができるとともに熱的に安定となる。また、損失導



波型構造の場合、熱的に安定となる。その一方で、電流ブロック層の第 2 の層がインジウムを含むので、ホウ素およびアルミニウムの少なくとも一方を含む第 1 の層の歪みを第 2 の層で吸収できクラックの発生が抑制される。

【0 0 1 4】

電流ブロック層の平均の屈折率は開口部内の第 2 の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さくてもよい。

【0 0 1 5】

この場合には、ストライプ状開口部下の活性層の領域での実効的な屈折率が電流ブロック層下の活性層の領域での実効的な屈折率より大きくなり、光がストライプ状開口部下の領域に集中する。それにより、実屈折率導波型構造が実現される。

【0 0 1 6】

さらに、電流ブロック層の平均の屈折率が開口部内の第 2 の窒化物系半導体層の屈折率よりも小さい場合に、第 1 の層の厚みを第 2 の層の厚みよりも厚くすることが好ましい。それにより、電流ブロック層の平均の屈折率を小さく設定することが容易になる。

【0 0 1 7】

電流ブロック層の平均のバンドギャップは活性層のバンドギャップとほぼ等しいか活性層のバンドギャップよりも小さくてもよい。

【0 0 1 8】

この場合には、電流ブロック層下の活性層の領域で発生した光が電流ブロック層により吸収されるため、光がストライプ状開口部下の領域に集中する。それにより、損失導波型構造が実現される。

【0 0 1 9】

電流ブロック層は、2 以上の第 1 の層と 1 以上の第 2 の層とが交互に積層されてなる構成であることが好ましい。

【0 0 2 0】

この場合には、第 1 の層の間に第 2 の層が挟まれるので、第 2 の層がその両側で発生する第 1 の層の歪みを効果的に吸収することができる。

## 【0021】

第1の窒化物系半導体層は、第1導電型のクラッド層、活性層および第2導電型の第1のクラッド層を含み、第2の窒化物系半導体層は、第2導電型の第2のクラッド層をこの順に含んでもよい。

## 【0022】

電流ブロック層の平均の屈折率が第2導電型の第1のクラッド層および第2のクラッド層の屈折率より小さい場合には、ストライプ状開口部下の活性層の領域での実効的な屈折率が電流ブロック層下の活性層の領域での実効的な屈折率よりも大きくなり、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子の実現される。

## 【0023】

一方、電流ブロック層が活性層よりも小さなバンドギャップを有する場合には、電流ブロック層下の活性層の領域で発生した光を電流ブロック層により吸収する損失導波型構造の半導体レーザ素子の実現される。

## 【0024】

## 【発明の実施の形態】

## (1) 第1の実施例

図1は本発明の第1の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子の模式的断面図である。また、図2は図1の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

## 【0025】

図1に示すように、サファイア基板1上に、厚さ200ÅのアンドープのBa<sub>1</sub>GaNからなる低温バッファ層2、厚さ4.5μmのアンドープのBGaN層3、厚さ4.5μmのn-BGAN層4、および厚さ0.25μmのn-クラック防止層5が順に形成されている。n-クラック防止層5は、厚さ60ÅのBa<sub>1</sub>GaNおよび厚さ60ÅのGaNが21対交互に積層されてなる。

## 【0026】

n-クラック防止層5上には、厚さ0.8μmのBa<sub>1</sub>GaNからなるn-クラッド層6および厚さ0.1μmのBGaNからなるn-光ガイド層7が順に形成されている。n-光ガイド層7上には、Bi<sub>n</sub>GaNからなるn-多重量子井

戸活性層（以下、MQW活性層と呼ぶ）8が形成されている。n-MQW活性層8は、厚さ50Åの4つのBInGa<sub>N</sub>量子障壁層と厚さ20Åの3つのBInGa<sub>N</sub>量子井戸層とが交互に積層されてなる多重量子井戸構造を有する。

## 【0027】

n-MQW活性層8上には、厚さ200ÅのBA<sub>1</sub>Ga<sub>N</sub>からなるp-キャリアブロック層9、厚さ0.1μmのBGa<sub>N</sub>からなるp-光ガイド層10、厚さ0.2μmのBA<sub>1</sub>Ga<sub>N</sub>からなるp-第1クラッド層11が順に形成されている。p-第1クラッド層11の上には、ストライプ状開口部13を有する厚さ約0.5μmのn-電流ブロック層12が形成されている。ストライプ状開口部13内のp-第1クラッド層11上とn-電流ブロック層12上とに厚さ0.7μmのBA<sub>1</sub>Ga<sub>N</sub>からなるp-第2クラッド層14が形成されている。p-第2クラッド層14の上に、厚さ0.05μmのBGa<sub>N</sub>からなるp-コンタクト層15が形成されている。n-電流ブロック層12は、図2のエネルギーバンド図に示すように、BA<sub>1</sub>Ga<sub>N</sub>からなる厚さ0.1μmの5つのn-第1電流ブロック層12aと、BInGa<sub>N</sub>からなる厚さ0.02μmの4つのn-第2電流ブロック層12bとが交互に積層されてなる。

## 【0028】

p-コンタクト層15からn-BGa<sub>N</sub>層4までの一部領域がエッチングにより除去され、n-BGa<sub>N</sub>層4が露出している。p-コンタクト層15上にp電極16が形成され、n-BGa<sub>N</sub>層4の露出した上面にn電極17が形成されている。

## 【0029】

図1の半導体レーザ素子は、例えばMOCVD（有機金属化学的気相成長）法により形成される。表1に図1の半導体レーザ素子の各層2～12，14，15の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0030】

【表1】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
低温バッファ層	$B_{0.1}Al_{0.4}Ga_{0.5}N$	200 Å	600
i-BGaN層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	4.5 μm	1080
n-BGaN層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	4.5 μm	1080
クラック防止層	$B_{0.05}Al_{0.02}Ga_{0.93}N$ /Ga <sub>0.93</sub> N	0.25 μm	1080
n-クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.8 μm	1080
n-光ガイド層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.1 μm	1080
量子障壁層	$B_{0.02}In_{0.05}Ga_{0.93}N$	50 Å	800
量子井戸層	$B_{0.02}In_{0.15}Ga_{0.83}N$	20 Å	800
p-キャリアブロック層	$B_{0.05}Al_{0.20}Ga_{0.75}N$	200 Å	800
p-光ガイド層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.1 μm	1080
p-第1クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.2 μm	1080
n-第1電流ブロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	0.1 μm	1080
n-第2電流ブロック層	$B_{0.02}In_{0.08}Ga_{0.90}N$	0.02 μm	800
p-第2クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.7 μm	1080
p-コンタクト層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	0.05 μm	1080

## 【0031】

n型ドーパントとしてはSiが用いられ、p型ドーパントとしてはMgが用いられる。表1に示すように、低温バッファ層2の成長温度は600℃であり、BGaN層3、n-BGaN層4、n-クラック防止層5、n-クラッド層6、n-光ガイド層7、n-キャリアブロック層8、p-光ガイド層10、p-第1クラッド層11、n-第1電流ブロック層12aおよびp-コンタクト層15の成

長温度は1080℃である。また、n-MQW活性層8、p-キャリアブロック層9およびn-第2電流ブロック層12bの成長温度は800℃である。

#### 【0032】

低温バッファ層2の成長時には、原料ガスとしてTMG（トリメチルガリウム）、TMA（トリメチルアルミニウム）、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を用いる。BGaN層3の成長時には、原料ガスとしてTMG、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を用いる。n-BGaN層4およびn-光ガイド層7の成長時には、原料ガスとしてTMG、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を使い、ドーパントガスとして $\text{SiH}_4$  を用いる。n-クラック防止層5、n-クラッド層6およびn-第1電流ブロック層12aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を使い、ドーパントガスとして $\text{SiH}_4$  を用いる。

#### 【0033】

n-MQW活性層8およびn-第2電流ブロック層12bの成長時には、原料ガスとしてTEG（トリエチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を使い、ドーパントガスとして $\text{SiH}_4$  を用いる。p-キャリアブロック層9、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を使い、ドーパントガスとして $\text{Cp}_2\text{Mg}$ （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用いる。p-光ガイド層10およびp-コンタクト層15の成長時には、原料ガスとしてTMG、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を使い、ドーパントガスとして $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用いる。

#### 【0034】

n-MQW活性層8の屈折率は、n-クラッド層6およびp-クラッド層12の屈折率よりも高く、n-光ガイド層7およびp-光ガイド層10の屈折率は、n-MQW活性層8の屈折率よりも低くかつn-クラッド層6、p-第1クラッド層11、p-第2クラッド層14の屈折率よりも高い。

#### 【0035】

また、図2から分かるように、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14のバンドギャップよりも、n-第1電流ブロック層12aのバンドギャ

ップは大きい。ところが、 $n$ -第2電流ブロック層12bのバンドギャップは、 $n$ -第1電流ブロック層12aよりも小さく、さらには $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14のバンドギャップよりも小さいが、MQW活性層8の量子井戸層（伝導帯下端のエネルギー準位 $E_1$ ）のバンドギャップよりは大きい。そして、 $n$ -第1電流ブロック層12aと $n$ -第2電流ブロック層12bの伝導帯下端の平均エネルギー準位 $E_2$ には $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

## 【0036】

本実施例の半導体レーザ素子においては、GaNにBおよびAlの少なくとも一方が添加されてなる層が $n$ -第1電流ブロック層12aを含めて $p$ -第1クラッド層11から $p$ -第2クラッド層14まであり、その厚さがほぼ $0.9\mu\text{m}$ と厚くなっている。しかし、 $n$ -BAlGaNからなる $n$ -第1電流ブロック層12aよりもバンドギャップの小さい $n$ -BiGaNからなる $n$ -第2電流ブロック層12bが $n$ -第1電流ブロック層12aの間に挟み込まれているので、 $n$ -第2電流ブロック層12bがその両側の $n$ -第1電流ブロック層12aで発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、 $n$ -第2電流ブロック層12bがインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

## 【0037】

5つの $n$ -第1電流ブロック層12aと4つの $n$ -第2電流ブロック層12bからなる $n$ -電流ブロック層12の伝導帯下端の平均エネルギー準位 $E_2$ が $n$ -第1クラッド層11と $p$ -第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されているため、 $n$ -電流ブロック層12の平均の屈折率が $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14の屈折率より小さくなっている。それにより、ストライプ状開口部13下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率が $n$ -電流ブロック層12下のMQW活性層8の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部13下の領域に集中する効果を大きくできる。それにより、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子の実現される。

## 【0038】

また、伝導帯下端のエネルギー準位の低いn-第2電流ブロック層12bの4層分の膜厚の合計は $0.08\mu\text{m}$ である。一方、伝導帯下端のエネルギー準位の高いn-第1電流ブロック層12aの膜厚は $0.1\mu\text{m}$ であり、5層を合計すると $0.5\mu\text{m}$ である。このようにn-第1電流ブロック層12aの膜厚をn-第2電流ブロック層12bの膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層12の伝導帯下端の平均エネルギー準位E2をp-第1クラッド層11とp-第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

【0039】

## (2) 第2の実施例

図3は本発明の第2の実施例におけるGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザ素子の電流ブロック層とその近傍のエネルギーバンド図である。図3の半導体レーザ素子が図1の半導体レーザ素子と異なるのは、積層されている層の数がn-電流ブロック層12では9層であるのに対し、n-電流ブロック層12Aでは3層になっている点である。n-電流ブロック層12Aを除く図3の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

【0040】

p-Ba<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nからなるp-第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Aは、図3のエネルギーバンド図に示すように、Ba<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nからなる厚さ $0.25\mu\text{m}$ の2つのn-第1電流ブロック層12cと、Bi<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nからなる厚さ $0.05\mu\text{m}$ の1つのn-第2電流ブロック層12dとが交互に積層されてなる。

【0041】

図2のn-第1電流ブロック層12aと図3のn-第1電流ブロック層12cおよび、図2のn-第2電流ブロック層12bと図3のn-第2電流ブロック層12dとはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長条件は同じである。

【0042】

また、n-電流ブロック層12Aを除く図3の半導体レーザ素子の各層の組成

、膜厚および成長条件は、図 1 の半導体レーザ素子の各層 2 ～ 1 1, 1 4, 1 5 の組成、膜厚および成長条件と同様である。n-第 1 電流ブロック層 1 2 c の伝導帯下端のエネルギー準位と n-第 1 電流ブロック層 1 2 a の伝導帯下端のエネルギー準位とは同じであり、n-第 2 電流ブロック層 1 2 d の伝導帯下端のエネルギー準位と n-第 2 電流ブロック層 1 2 b の伝導帯下端のエネルギー準位は同じである。そして、n-電流ブロック層 1 2 A の伝導帯下端の平均エネルギー準位 E 3 は p-第 1 クラッド層 1 1 と p-第 2 クラッド層 1 4 の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

## 【0043】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第 1 の実施例の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層 1 2 A による光閉じ込め効果を向上させることができ、同時に p-電流クラッド層 1 1 と n-電流ブロック層 1 2 A と p-第 2 クラッド層 1 4 にクラックが入りにくくなる。そして、n-第 1 電流ブロック層 1 2 c がホウ素およびアルミニウムを含むことにより熱安定性が向上している。

## 【0044】

## (3) 第 3 の実施例

図 4 は本発明の第 3 の実施例における GaN 系半導体レーザ素子の電流ブロック層とその近傍のエネルギーバンド図である。図 4 の半導体レーザ素子が図 1 の半導体レーザ素子と異なるのは、n-電流ブロック層 1 2 B が n-電流ブロック層 1 2 とは異なった組成になっている点である。図 4 の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図 1 に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

## 【0045】

p-BAlGaN 第 1 クラッド層 1 1 上に形成される n-電流ブロック層 1 2 B は、図 4 のエネルギーバンド図に示すように、厚さ 0.1  $\mu\text{m}$  の 5 つの n-BAlGaN 第 1 電流ブロック層 1 2 e と厚さ 0.01  $\mu\text{m}$  の 4 つの n-BInGaN 第 2 電流ブロック層 1 2 f とが交互に積層されてなる。

## 【0046】



表 2 に図 4 の半導体レーザ素子に関わる一部の層の組成、膜厚および成長温度を示す。n-電流ブロック層 1 2 B 以外の層の組成、膜厚および成長温度は、図 1 (表 1) に示された半導体レーザ素子の各層 2 ~ 1 1, 1 4, 1 5 の組成、膜厚および成長温度と同様である。

【0 0 4 7】

【表 2】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	$B_{0.02}In_{0.05}Ga_{0.93}N$	50 Å	800
量子井戸層	$B_{0.02}In_{0.15}Ga_{0.83}N$	20 Å	800
p-第 1 クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.2 μm	1080
n-第 1 電流ブロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	0.1 μm	1080
n-第 2 電流ブロック層	$B_{0.02}In_{0.18}Ga_{0.80}N$	0.01 μm	800
p-第 2 クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	0.7 μm	1080

【0 0 4 8】

図 4 から分かるように、n-第 1 電流ブロック層 1 2 e のバンドギャップは、p-第 1 クラッド層 1 1 および p-第 2 クラッド層 1 4 のバンドギャップよりも大きい。一方、n-第 2 電流ブロック層 1 2 f のバンドギャップは、MQW 活性層 8 の量子井戸層のバンドギャップより小さい。そして、n-第 1 電流ブロック層 1 2 e と n-第 2 電流ブロック層 1 2 f との伝導帯下端の平均エネルギー準位 E 4 は、p-第 1 クラッド層 1 1 および p-第 2 クラッド層 1 4 の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

【0 0 4 9】

本実施例の半導体レーザ素子においては、n-BAlGa<sub>0.93</sub>N からなる n-第 1 電流ブロック層 1 2 e よりもバンドギャップの小さい n-BInGa<sub>0.83</sub>N からなる n-第 2 電流ブロック層 1 2 f が n-第 1 電流ブロック層 1 2 e の間に挟み込まれているのでクラックを防止する効果が大きくなっている。特に、第 1 の実施例

と比べると、 $n$ -BInGa $N$ 第2電流ブロック層12fのインジウムの組成比が $n$ -BInGa $N$ 第2電流ブロック層12bのインジウムの組成比よりも大きいので、クラックはさらに入りにくくなっている。

【0050】

一方、 $n$ -電流ブロック層12Bの熱安定性は、 $n$ -第1電流ブロック層12eがアルミニウムおよびホウ素を含んでいるため向上している。また、 $n$ -第1電流ブロック層12eと $n$ -第2電流ブロック層12fの伝導帯下端の平均エネルギー準位E4が $p$ -第1クラッド層11と $p$ -第2クラッド層14の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高くなっていることにより、 $n$ -電流ブロック層12Bの平均の屈折率が $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14よりも小さくなって $n$ -電流ブロック層12Bのストライプ状開口部13下のMQW活性層8の領域に光が集中し、光閉じ込めの効果が向上している。ただし、第1の実施例と比べると、 $n$ -BInGa $N$ からなる $n$ -第2電流層12fのバンドギャップが $n$ -BInGa $N$ からなる $n$ -第2電流ブロック層12bのバンドギャップよりも小さいので、第1の実施例の半導体レーザ素子の方が $n$ -電流ブロック層の伝導帯下端の平均エネルギー準位の制御が容易である。

【0051】

#### (4) 第4の実施例

図5は本発明の第4の実施例におけるGa $N$ 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【0052】

図5の半導体レーザ素子が図4の半導体レーザ素子と異なるのは、積層されている層の数が $n$ -電流ブロック層12Bでは9層であるのに対し、 $n$ -電流ブロック層12Cでは3層になっている点である。図5の半導体レーザ素子の他の部分の構成および製造方法は、図3の半導体レーザ素子の構成および製造方法、すなわち図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

【0053】

$p$ -BA1Ga $N$ からなる $p$ -第1クラッド層11上に形成される $n$ -電流ブロック層12Cは、図5のエネルギーバンド図に示すように、BA1Ga $N$ から

なる厚さ  $0.25\ \mu\text{m}$  の 2 つの  $n$ -第 1 電流ブロック層 12 g と、 $\text{BInGaN}$  からなる厚さ  $0.05\ \mu\text{m}$  の 1 つの  $n$ -第 2 電流ブロック層 12 h とが交互に積層されてなる。図 4 の  $n$ -第 1 電流ブロック層 12 e と図 5 の  $n$ -第 1 電流ブロック層 12 g および、図 4 の  $n$ -第 2 電流ブロック層 12 f と図 5 の  $n$ -第 2 電流ブロック層 12 h とはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長条件は同じである。また、 $n$ -電流ブロック層 12 C を除く図 5 の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長条件は図 4 の半導体レーザ素子の各層、すなわち図 1 の半導体レーザ素子の各層 2 ~ 11, 14, 15 の組成、膜厚および成長条件と同じである。

## 【0054】

$\text{Ba1GaIn}$  からなる  $n$ -第 1 電流ブロック層 12 g のバンドギャップは  $\text{Ba1GaIn}$  からなる  $n$ -第 1 電流ブロック層 12 e と同等であり、 $\text{BInGaIn}$  からなる  $n$ -第 2 電流ブロック層 12 h のバンドギャップは  $\text{BInGaIn}$  からなる  $n$ -第 2 電流ブロック層 12 f と同等である。そして、 $n$ -電流ブロック層 12 C の伝導帯下端の平均エネルギー準位  $E_5$  は  $p$ -第 1 クラッド層 11 と  $p$ -第 2 クラッド層 14 の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く設定されている。

## 【0055】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第 3 の実施例の半導体素子と同様に、 $n$ -電流ブロック層 12 C による光閉じ込め効果および熱安定性を向上させることができ、同時に  $p$ -第 1 クラッド層 11 と  $n$ -電流ブロック層 12 C と  $p$ -第 2 クラッド層 14 にクラックが入りにくくなる。

## 【0056】

## (5) 第 5 の実施例

図 6 は本発明の第 5 の実施例における  $\text{GaIn}$  系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

## 【0057】

図 6 の半導体レーザ素子が図 1 の半導体レーザ素子と異なるのは、 $n$ -電流ブロック層 12 D が  $n$ -電流ブロック層 12 とは異なった組成になっている点である。図 6 の半導体レーザ素子の  $n$ -電流ブロック層 12 D 以外の部分の構成およ

び製造方法は、図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

【0058】

BA1Ga<sub>0.93</sub>Nからなるp-第1クラッド層11上に形成されるn-電流ブロック層12Dは、図6のエネルギーバンド図に示すように、厚さ0.1μmの5つのBA1InGa<sub>0.88</sub>Nからなるn-第1電流ブロック層12iと厚さ0.01μmの4つのBInGa<sub>0.78</sub>Nからなるn-第2電流ブロック層12kとが交互に積層されてなる。

【0059】

表3に図6の半導体レーザ素子に関わる一部の層の組成、膜厚および成長温度を示す。n-電流ブロック層12D以外の層の組成、膜厚および成長条件は、図1（表1）に示された半導体レーザ素子の各層2～11，14，15の組成、膜厚および成長条件と同様である。

【0060】

【表3】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	B <sub>0.02</sub> In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	50Å	800
量子井戸層	B <sub>0.02</sub> In <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.83</sub> N	20Å	800
p-第1クラッド層	B <sub>0.02</sub> Al <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.2μm	1080
n-第1電流ブロック層	B <sub>0.02</sub> Al <sub>0.02</sub> In <sub>0.08</sub> Ga <sub>0.88</sub> N	0.1μm	800
n-第2電流ブロック層	B <sub>0.02</sub> In <sub>0.18</sub> Ga <sub>0.80</sub> N ～B <sub>0.02</sub> In <sub>0.20</sub> Ga <sub>0.78</sub> N	0.01μm	800
p-第2クラッド層	B <sub>0.02</sub> Al <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.7μm	1080

【0061】

図6に示すように、BInGa<sub>0.78</sub>Nからなるn-第2電流ブロック層12kのバンドギャップは、MQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも小さい。

BAlInGa<sub>N</sub>からなるn-第1電流ブロック層12iのバンドギャップは、MQW活性層8の量子障壁層のバンドギャップとほぼ同じかそれよりも小さい。そのため、n-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位がMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E<sub>6</sub>とほぼ同じかそれ以下に設定される。

#### 【0062】

本実施例の半導体レーザ素子においては、Ga<sub>N</sub>にAlまたはBの少なくとも一方が添加されてなる層の厚さが0.9 μmと厚くなっているが、BAlInGa<sub>N</sub>からなるn-第1電流ブロック層12iよりもバンドギャップの小さいBInGa<sub>N</sub>からなるn-第2電流ブロック層12kがBAlInGa<sub>N</sub>からなるn-第1電流ブロック層12iの間に挟み込まれているので、n-電流ブロック層12Dの熱安定性を向上させつつクラックを防止することができる。

#### 【0063】

この場合、5つのn-第1電流ブロック層12iと4つのn-第2電流ブロック層12kからなるn-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位がMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E<sub>6</sub>よりも低く設定されているため、n-電流ブロック層12D下の活性層8の領域で発生した光がn-電流ブロック層12Dにより吸収され、光がn-電流ブロック層12Dのストライプ状開口部13下の活性層8の領域に集中する。それにより、損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

#### 【0064】

また、n-第2電流ブロック層12kにMQW活性層8の量子井戸層よりもバンドギャップが小さいものを用いることによりn-電流ブロック層12Dの伝導帯下端の平均エネルギー準位を活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E<sub>6</sub>よりも小さく制御することが容易になる。

#### 【0065】

##### (6) 第6の実施例

図7は本発明の第6の実施例におけるGa<sub>N</sub>系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。図7の半導体レーザ素子が図

6の半導体レーザ素子と異なるのは、積層される層の数がn-電流ブロック層12Dでは9層であるのに対し、n-電流ブロック層12Eでは3層になっている点である。図7の半導体レーザ素子のn-電流ブロック層12E以外の部分の構成および製造方法は、図6の半導体レーザ素子の構成および製造方法、すなわち図1に示す半導体レーザ素子の構成および製造方法と同様である。

## 【0066】

p-BAlGaIn第1電流ブロック層11上に形成されるn-電流ブロック層12Eは、図7に示すように、厚さ0.25 $\mu$ mの2つのBAlInGaInからなるn-第1電流ブロック層12mと、厚さ0.05 $\mu$ mの1つのBInGaInからなるn-第2電流ブロック層12nとが交互に積層されてなる。図7のn-第1電流ブロック層12mと図6のn-第1電流ブロック層12iおよび、図7のn-第2電流ブロック層12nと図6のn-第2電流ブロック層12kとはそれぞれ膜厚が異なるだけで組成および成長温度は同じである。また、n-電流ブロック層12Eを除く図7の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長温度は図6の半導体レーザ素子の各層、すなわち図1の半導体レーザ素子の各層2~11, 14, 15の組成、膜厚および成長温度と同じである。

## 【0067】

BAlInGaInからなるn-第1電流ブロック層12mのバンドギャップはBAlInGaInからなるn-第1電流ブロック層12iのバンドギャップと同等であり、BInGaInからなるn-第2電流ブロック層12nのバンドギャップはBInGaInからなるn-第2電流ブロック層12kのバンドギャップと同等である。そして、n-電流ブロック層12Eの伝導帯下端の平均エネルギー準位はMQW活性層8の伝導帯下端の平均エネルギー準位E7とほぼ同じかそれよりも低く設定されている。

## 【0068】

以上のように構成された本実施例の半導体レーザ素子においては、第5の半導体レーザ素子と同様に、アルミニウムとホウ素のうちの少なくとも一方の組成比を大きくしてn-電流ブロック層12Eの熱安定性を向上させることができる。それと同時に、BInGaInからなるn-第2電流ブロック層12nが挟み込ま

れているため p-第1クラッド層 11 と n-電流ブロック層 12 E と p-第2クラッド層 14 にクラックが入りにくくなっている。

【0069】

(7) 第7の実施例

図8は本発明の第7の実施例における GaN 系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0070】

図8に示すように、GaN 基板等の導電性基板 18 上に、バッファ層 2、n-BGaN 層 4、n-クラック防止層 5、n-クラッド層 6、n-光ガイド層 7、n-MQW 活性層 8、p-キャリアブロック層 9、p-光ガイド層 10、p-第1クラッド層 11 が順に形成されている。p-第1クラッド層 11 の上に、ストライプ状開口部 13 を有する n-電流ブロック層 12 が形成されている。ストライプ状開口部 13 内の p-第1クラッド層 11 上および n-電流ブロック層 12 上に p-第2クラッド層 14 が形成されている。p-第2クラッド層 14 上に p-コンタクト層 15 が形成されている。p-コンタクト層 15 上に p 電極 16 が形成され、導電性基板 18 の裏面に n 電極 17 が形成されている。図8の半導体レーザ素子では、図1の半導体レーザ素子の BGaN 層 3 は設けられていない。また、図8の半導体レーザ素子においても図1の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層 12 は、図2のエネルギーバンド図に示すように、BA1GaN からなる厚さ  $0.1\mu\text{m}$  の5つの n-第1電流ブロック層 12 a と、BI nGaN からなる厚さ  $0.02\mu\text{m}$  の4つの n-第2電流ブロック層 12 b とが交互に積層されてなる。

【0071】

図8の半導体レーザ素子の各層 2, 4~12, 14, 15 の組成、膜厚および成長条件は、図1の半導体レーザ素子の各層 2, 4~12, 14, 15 の組成、膜厚および成長条件と同様である。

【0072】

本実施例の半導体レーザ素子においては、BA1GaN からなる n-第1電流ブロック層 12 a よりもバンドギャップの小さい BI nGaN からなる n-第2

電流ブロック層 12b が n-第 1 電流ブロック層 12a の間に挟み込まれているので、n-第 2 電流ブロック層 12b がその両側の n-第 1 電流ブロック層 12a で発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、n-第 2 電流ブロック層 12b がインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

## 【0073】

n-電流ブロック層 12 の屈折率が p-第 1 クラッド層 11 および p-第 2 クラッド層 14 の屈折率より小さくなっており、ストライプ状開口部 13 下の MQW 活性層 8 の領域での実効的な屈折率が n-電流ブロック層 12 下の MQW 活性層 8 の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部 13 下の領域に集中する効果を大きくできる。

## 【0074】

また、n-第 1 電流ブロック層 12a の膜厚を n-第 2 電流ブロック層 12b の膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層 12 の伝導帯下端の平均エネルギー準位 E2 を p-第 1 クラッド層 11 と p-第 2 クラッド層 14 の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

## 【0075】

## (8) 第 8 の実施例

次に、本発明の第 8 の実施例における GaN 系半導体レーザ素子について説明する。

## 【0076】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、各層の材料を除いて図 1 の半導体レーザ素子の構成と同様である。表 4 に本実施例の半導体レーザ素子の各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0077】



【表4】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
低温バッファ層	$\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$	200 Å	600
i-GaN層	GaN	4.5 μm	1080
n-GaN層	GaN	4.5 μm	1080
クラック防止層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ /GaN	0.25 μm	1080
n-クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	0.8 μm	1080
n-光ガイド層	GaN	0.1 μm	1080
量子障壁層	$\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$	50 Å	800
量子井戸層	$\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$	20 Å	800
p-キャリアブロック層	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$	200 Å	800
p-光ガイド層	GaN	0.1 μm	1080
p-第1クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	0.2 μm	1080
n-第1電流ブロック層	$\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$	0.1 μm	1080
n-第2電流ブロック層	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$	0.02 μm	800
p-第2クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	0.7 μm	1080
p-コンタクト層	GaN	0.05 μm	1080

【0078】

表4に示すように、低温バッファ層2はAlGaNからなり、BGaN層3の代わりにアンドープのGaN層が設けられ、n-BGaN層4の代わりにn-GaN層が設けられている。クラック防止層5は厚さ60 ÅのAlGaNと厚さ60 ÅのGaNとが21対交互に積層されてなり、n-クラッド層6はAlGaNからなり、n-光ガイド層7はGaNからなる。

## 【0079】

また、 $n$ -MQW活性層8は、厚さ50Åの4つのInGa $N$ 量子障壁層と厚さ20Åの3つのInGa $N$ 量子井戸層とが交互に積層されてなる。さらに、 $p$ -キャリアブロック層9はAlGa $N$ からなり、 $p$ -光ガイド層10はGa $N$ からなり、 $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14はAlGa $N$ からなり、 $p$ -コンタクト層13はGa $N$ からなる。また、 $n$ -電流ブロック層12は、図2のエネルギーバンド図に示すように、厚さ0.1 $\mu$ mの5つの $n$ -第1電流ブロック層12aと、厚さ0.02 $\mu$ mの4つの $n$ -第2電流ブロック層12bとが交互に積層されてなり、 $n$ -第1電流ブロック層12aはAlGa $N$ からなり、 $n$ -第2電流ブロック層12bはInGa $N$ からなる。

## 【0080】

低温バッファ層2の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用いる。Ga $N$ 層の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用いる。 $n$ -Ga $N$ 層および $n$ -光ガイド層7の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。 $n$ -クラック防止層5、 $n$ -クラッド層6および $n$ -第1電流ブロック層12aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。

## 【0081】

$n$ -MQW活性層8および $n$ -第2電流ブロック層12bの成長時には、原料ガスとしてTEG、TMIおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。 $p$ -キャリアブロック層10、 $p$ -第1クラッド層11および $p$ -第2クラッド層14の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。 $p$ -光ガイド層11および $p$ -コンタクト層13の成長時には、原料ガスとしてTMGおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。

## 【0082】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図1の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

【0083】

(9) 第9の実施例

次に、本発明の第9の実施例におけるGa<sub>0.98</sub>N系の半導体レーザ素子について説明する。

【0084】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、n-電流ブロック層の材料を膜厚を除いて第6の実施例の半導体レーザ素子の構成と同様である。表5に本実施例の半導体レーザ素子の組成、膜厚および成長温度を示す。

【0085】

【表5】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	In <sub>0.02</sub> Ga <sub>0.98</sub> N	50Å	800
量子井戸層	In <sub>0.10</sub> Ga <sub>0.90</sub> N	20Å	800
p-第1クラッド層	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.2μm	1080
n-第1電流ブロック層	Al <sub>0.09</sub> Ga <sub>0.91</sub> N	0.1μm	1080
n-第2電流ブロック層	In <sub>0.13</sub> Ga <sub>0.87</sub> N	0.01μm	800
p-第2クラッド層	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> N	0.7μm	1080

【0086】

表5に示す量子障壁層、量子井戸層、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の組成、膜厚および成長温度は表4に示す半導体レーザ素子と同様である。

【0087】

図4のエネルギーバンド図に示すように、本実施例の半導体レーザ素子のn-電流ブロック層12Bは、厚さ0.1μmの5つのAlGa<sub>0.91</sub>Nからなるn-第1電流ブロック層12eと、厚さ0.01μmの4つのBi<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nからなるn-第2電流ブロック層12fとを交互に積層してなる。

## 【0088】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図4の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0089】

## (10) 第10の実施例

次に、本発明の第10の実施例におけるGaN系半導体レーザ素子について説明する。

## 【0090】

本実施例の半導体レーザ素子の構成は、n-電流ブロック層の材料と膜厚を除いて第8の実施例の半導体レーザ素子の構成と同様である。表6に本実施例の半導体レーザ素子の組成、膜厚および成長温度を示す。

## 【0091】

【表6】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
量子障壁層	$\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$	50 Å	800
量子井戸層	$\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$	20 Å	800
p-第1クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	0.2 μm	1080
n-第1電流ブロック層	$\text{Al}_{0.04}\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$	0.1 μm	800
n-第2電流ブロック層	$\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$	0.01 μm	800
p-第2クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	0.7 μm	1080

## 【0092】

表6に示す量子障壁層、量子井戸層、p-第1クラッド層11およびp-第2クラッド層14の組成、膜厚および成長温度は表4に示す半導体レーザ素子と同様である。

## 【0093】

図6のエネルギーバンド図に示すように、本実施例の半導体レーザ素子のn-

電流ブロック層 12D は、AlInGa<sub>N</sub> からなる厚さ 0.1  $\mu$ m の 5 つの n-  
第 1 電流ブロック層 12i と、InGa<sub>N</sub> からなる厚さ 0.01  $\mu$ m の 4 つの n-  
第 2 電流ブロック層 12k とを交互に積層してなる。

【0094】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図 6 の半導体レーザ素子と同様の効果  
が得られる。

【0095】

(11) 第 11 の実施例

図 9 は、本発明の第 11 の実施例における Ga<sub>N</sub> 系半導体レーザ素子の模式的  
断面図である。図 10 は図 9 の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近  
傍のエネルギーバンド図である。図 9 に示す半導体レーザ素子は、p-クラッド  
層 41 にストライプ状リッジ部 41a を有するタイプである。

【0096】

本実施例の半導体レーザ素子のサファイア基板 1 から p-光ガイド層 10 まで  
の各層については、図 1 の半導体レーザ素子の構成と同様である。また、本実施  
例の半導体レーザ素子の n-電流ブロック層 42 については、ストライプ状開口  
部 45 の長手方向と垂直な方向における開口部の断面形状を除き図 1 の n-電流  
ブロック層 12 と同様である。表 7 に本実施例の半導体レーザ素子の p-光ガイ  
ド層 10 よりも上に形成されている各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

【0097】

【表 7】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
p-クラッド層	$B_{0.02}Al_{0.05}Ga_{0.93}N$	$0.2\mu m$	1080
n-第1電流ブロック層	$B_{0.02}Al_{0.07}Ga_{0.91}N$	$0.1\mu m$	1080
n-第2電流ブロック層	$B_{0.02}In_{0.08}Ga_{0.90}N$	$0.02\mu m$	800
p-キャップ層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	$0.1\mu m$	1080
p-コンタクト層	$B_{0.02}Ga_{0.98}N$	$0.05\mu m$	1080

## 【0098】

表7に示すように、リッジ部41aを有する $BAlGaN$ からなるp-クラッド層41が $BGaN$ からなるp-光ガイド層10上に設けられている。リッジ部41aの領域を除きp-クラッド層41の厚さは $0.2\mu m$ である。p-クラッド層41のリッジ部41a上には $BGaN$ からなるp-キャップ層43が設けられ、リッジ部41a両側のp-クラッド層41上にn-電流ブロック層42が設けられている。n-電流ブロック層42上とp-キャップ43上に、 $BGaN$ からなるp-コンタクト層44が設けられている。p-クラッド層41においては、リッジ部41aがp-第2クラッド層に相当し、リッジ部41a以外の部分がp-第1クラッド層に相当する。

## 【0099】

図1の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層42は、 $BAlGaN$ からなる厚さ $0.1\mu m$ の5つのn-第1電流ブロック層42aと、 $BInGaN$ からなる厚さ $0.02\mu m$ の4つのn-第2電流ブロック層42bとを図10に示すように交互に積層してなる。

## 【0100】

p- $BAlGaN$ クラッド層41の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMAl、 $NH_3$  および $B_2H_4$  を使い、ドーパントガスとして $Cp_2$ 、Mgを用いる。p- $BGaN$ キャップ層43およびp- $BGaN$ コンタクト層44の成長時に

は、原料ガスとしてTMG、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を用い、ドーパントガスとして $\text{Cp}_2$ 、Mgを用いる。n-第1電流ブロック層42aの成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を用い、ドーパントガスとして $\text{SiH}_4$  を用いる。また、n-第2電流ブロック層42bの成長時には、原料ガスとしてTEG、TMI、 $\text{NH}_3$  および $\text{B}_2\text{H}_4$  を用い、ドーパントガスとして $\text{SiH}_4$  を用いる。

## 【0101】

本実施例の半導体レーザ素子においても、図1の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0102】

なお、上記第11の実施例では、5つのn-第1電流ブロック層42aと4つのn-第2電流ブロック層42bとを交互に積層する場合について説明したが、積層するn-第1電流ブロック層とn-第2電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2以上のn-第1電流ブロック層と1以上の第2電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすればn-第1電流ブロック層の間にn-第2電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第2電流ブロック層がその両側で発生するn-第1電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

## 【0103】

また、上記第11の実施例の $\text{BiInGa}\text{N}$ からなるn-第2電流ブロック層42bのバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成を $\text{B}_{0.02}\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$ としてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

## 【0104】

また、上記第11の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率が $\text{BaInGa}\text{N}$ からなるp-クラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、図6の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

【0105】

(12) 第12の実施例

次に、本発明の第12の実施例における半導体レーザ素子について説明する。

【0106】

本実施例の半導体レーザ素子の模式的断面構造は、図9に示す第11の実施例の半導体レーザ素子と同様である。ただし、本実施例の半導体レーザ素子の各層の材料が第11の実施例の材料と異なっている。本実施例の半導体レーザ素子のサファイア基板1からp-光ガイド層10までの各層については、表4に示されている第8の実施例の各層と同じである。そして、表8に本実施例の半導体レーザ素子のp-光ガイド層10よりも上に形成されている各層の組成、膜厚および成長温度を示す。

【0107】

【表8】

各層の名称	組 成	膜 厚	成長温度 [°C]
p-クラッド層	$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$	$0.2\mu\text{m}$	1080
n-第1電流ブロック層	$\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$	$0.1\mu\text{m}$	1080
n-第2電流ブロック層	$\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$	$0.02\mu\text{m}$	800
p-キャップ層	$\text{Ga}\text{N}$	$0.1\mu\text{m}$	1080
p-コンタクト層	$\text{Ga}\text{N}$	$0.05\mu\text{m}$	1080

【0108】

p-GaN光ガイド層10上に形成されたp-クラッド層41は、AlGaNからなり、リッジ部41aの領域を除き $0.2\mu\text{m}$ の膜厚を有する。p-キャップ層43は、GaNからなり、 $0.1\mu\text{m}$ の膜厚を有する。また、n-電流ブロック層42は、図10に示すように、AlGaNからなる厚さ $0.1\mu\text{m}$ の5つのn-第1電流ブロック層と、InGaNからなる厚さ $0.02\mu\text{m}$ の4つのn-第2電流ブロック層とが交互に積層されてなる。n-電流ブロック層42上と



p-キャップ層43上には、Ga<sub>2</sub>Nからなる厚さ0.05 μmのコンタクト層44が形成されている。

## 【0109】

p-クラッド層41の成長時には、原料ガスとしてTMG、TMA、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。p-キャップ層43およびp-コンタクト層44の成長時には、原料ガスとしてTMG、NH<sub>3</sub>およびB<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を用い、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用いる。n-第1電流ブロック層の成長時には、TMG、TMAおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。n-第2電流ブロック層の成長時には、原料ガスとしてTEG、TMIおよびNH<sub>3</sub>を用い、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用いる。

## 【0110】

本実施例の半導体レーザ素子においても、第8の実施例の半導体レーザ素子と同様の効果が得られる。

## 【0111】

なお、上記第12の実施例では、5つのn-第1電流ブロック層42aと4つのn-第2電流ブロック層42bとを交互に積層する場合について説明したが、積層するn-第1電流ブロック層とn-第2電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2以上のn-第1電流ブロック層と1以上の第2電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすれば、n-第1電流ブロック層の間にn-第2電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第2電流ブロック層がその両側で発生するn-第1電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

## 【0112】

また、上記第12の実施例のInGa<sub>2</sub>Nからなるn-第2電流ブロック層のバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成をIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nとしてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

## 【0113】

また、上記第12の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率がp-AlGaInクラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、第10の実施例の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

【0114】

(13) 第13の実施例

図11は本発明の第13の実施例におけるGaIn系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0115】

図11に示すように、GaIn基板等の導電性基板18上に、バッファ層2、n-BGaIn層4、n-クラック防止層5、n-クラッド層6、n-光ガイド層7、n-MQW活性層8、p-キャリアブロック層9、p-光ガイド層10、p-クラッド層41が順に形成されている。p-クラッド層41にはストライプ状リッジ部41aが形成されている。ストライプ状リッジ部41aの両側のp-クラッド層41上にはn-電流ブロック層42が形成されている。ストライプ状リッジ部41aの上にはp-キャップ層43が形成されている。n-電流ブロック層42上およびp-キャップ層43上にp-コンタクト層44が形成されている。p-コンタクト層44上にp電極16が形成され、導電性基板18の裏面にn電極17が形成されている。図11の半導体レーザ素子では、図9の半導体レーザ素子のBGaIn層3は設けられていない。

【0116】

図11の半導体レーザ素子の各層2, 4~10, 41~44の組成、膜厚および成長条件は、図9の半導体レーザ素子の各層2, 4~10, 41~44の組成、膜厚および成長条件と同様である。また、図11の半導体レーザ素子においても図9の半導体レーザ素子と同様に、n-電流ブロック層42は、図10のエネルギーバンド図に示すように、厚さ0.1 $\mu$ mの5つのn-第1電流ブロック層42aと、厚さ0.02 $\mu$ mの4つのn-第2電流ブロック層42bとが交互に積層されてなる。この第1電流ブロック層42aはAlGaInからなり、n-第

2 電流ブロック層 4 2 b は InGa<sub>N</sub> からなる。

【0117】

本実施例の半導体レーザ素子においては、AlGa<sub>N</sub> からなる n-第 1 電流ブロック層 4 2 a よりもバンドギャップの小さい、InGa<sub>N</sub> からなる n-第 2 電流ブロック層 4 2 b が n-第 1 電流ブロック層 4 2 a の間に挟み込まれているので、n-第 2 電流ブロック層 4 2 b がその両側の n-第 1 電流ブロック層 4 2 a で発生する歪みを効果的に吸収するため、クラックが入りにくくなっている。特に、n-第 2 電流ブロック層 4 2 b がインジウムを含んでいるため、クラックを防止する効果が大きくなっている。

【0118】

n-電流ブロック層 4 2 の屈折率が p-クラッド層 4 1 の屈折率より小さくなっており、ストライプ状開口部 4 2 下の MQW 活性層 8 の領域での実効的な屈折率が n-電流ブロック層 4 2 下の MQW 活性層 8 の領域での実効的な屈折率よりも小さくなり、光がストライプ状開口部 4 5 下の領域に集中する効果を大きくできる。それにより、実屈折率導波型構造の半導体レーザ素子が実現される。

【0119】

また、n-第 1 電流ブロック層 4 2 a の膜厚を n-第 2 電流ブロック層 4 2 b の膜厚よりも厚くすることにより、n-電流ブロック層 4 2 の伝導帯下端の平均エネルギー準位 E<sub>8</sub> を p-クラッド層 4 1 の伝導帯下端のエネルギー準位よりも高く制御することが容易になる。

【0120】

なお、上記第 13 の実施例では、5 つの n-第 1 電流ブロック層 4 2 a と 4 つの n-第 2 電流ブロック層 4 2 b とを交互に積層する場合について説明したが、積層する n-第 1 電流ブロック層と n-第 2 電流ブロック層の数は上記の例に限られない。2 以上の n-第 1 電流ブロック層と 1 以上の第 2 電流ブロック層とが交互に積層されればよい。そうすれば n-第 1 電流ブロック層の間に n-第 2 電流ブロック層が挟み込まれる形になり、n-第 2 電流ブロック層がその両側で発生する n-第 1 電流ブロック層の歪みを効果的に吸収できる。

【0121】

また、上記第13の実施例のn-第2電流ブロック層42bのバンドギャップはMQW活性層8の量子井戸層のバンドギャップよりも大きくなっているが、インジウムの組成比を大きくし、例えばその組成を $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ としてn-第2電流ブロック層のバンドギャップを量子井戸層のバンドギャップよりも小さくしてもよい。

## 【0122】

また、上記第13の実施例ではn-電流ブロック層42の平均の屈折率がAlGaInからなるp-クラッド層41の屈折率よりも小さく設定され、実屈折導波型構造となっているが、n-電流ブロック層の平均のバンドギャップをMQW活性層8のバンドギャップよりも小さくしてもよく、その場合には、第10の実施例の半導体レーザ素子と同様に損失導波型構造の半導体レーザ素子が得られる。

## 【0123】

なお、第1の層であるn-第1電流ブロック層12a, 12c, 12e, 12g, 12i, 42aおよび第2の層であるn-第2電流ブロック層12b, 12d, 12f, 12h, 12k, 42bの組成および膜厚は上記実施例に限定されない。第1の層はアルミニウムおよびホウ素の少なくとも一方を含む窒化物系半導体からなり、第2の層はインジウムを含む窒化物系半導体からなり、第1の層よりも第2の層のバンドギャップが小さければよい。

## 【0124】

また、p-第1クラッド層11, 41とp-第2クラッド層14, 41aの組成は異なってもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明の第1の実施例におけるGaIn系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

## 【図2】

図1の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

## 【図3】

本発明の第 2 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 4】

本発明の第 3 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 5】

本発明の第 4 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 6】

本発明の第 5 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 7】

本発明の第 6 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 8】

本発明の第 6 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 9】

本発明の第 1 1 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 1 0】

図 9 の半導体レーザ素子の電流ブロック層およびその近傍のエネルギーバンド図である。

【図 1 1】

本発明の第 1 3 の実施例における G a N 系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 1 2】

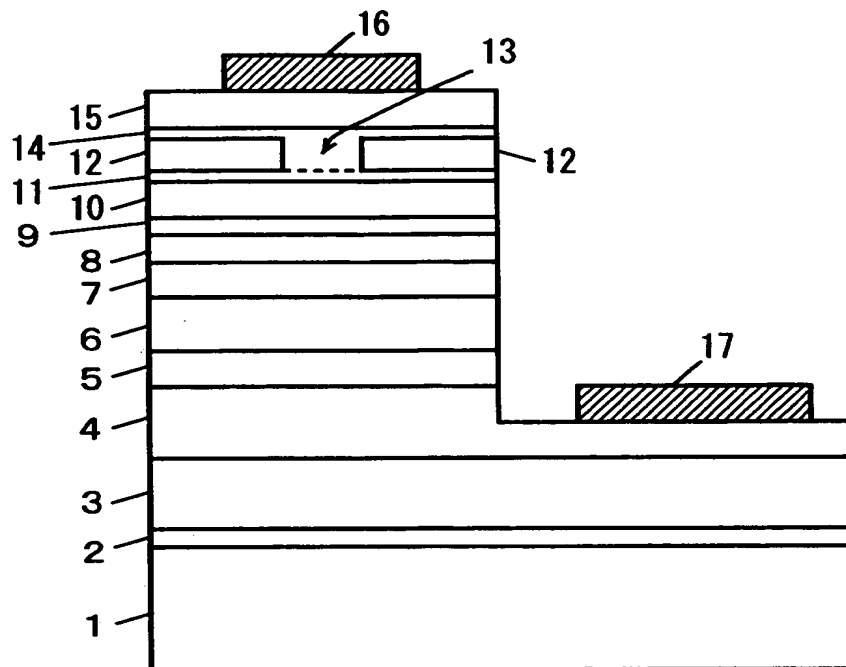
従来の G a N 系半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【符号の説明】

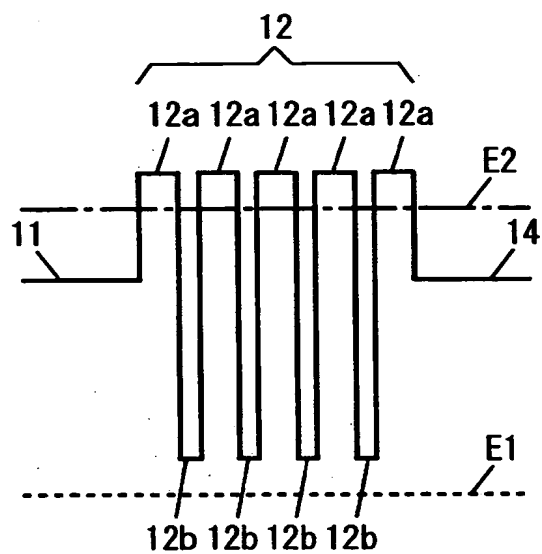
- 1    サファイア基板
- 6    n-クラッド層
- 7    n-光ガイド層
- 8    n-MQW活性層
- 9    p-キャリアブロック層
- 10   p-光ガイド層
- 11   p-第1クラッド層
- 12, 12A~12E, 42   n-電流ブロック層
- 12a, 12c, 12e, 12g, 12i, 42a   n-第1電流ブロック層
- 12b, 12d, 12f, 12h, 12k, 42b   n-第2電流ブロック層
- 13, 45   ストライプ状開口部
- 14   p-第2クラッド層
- 15, 44   p-コンタクト層
- 16   p電極
- 17   n電極
- 18   導電性基板
- 41   p-クラッド層
- 43   p-キャップ層

【書類名】 図面

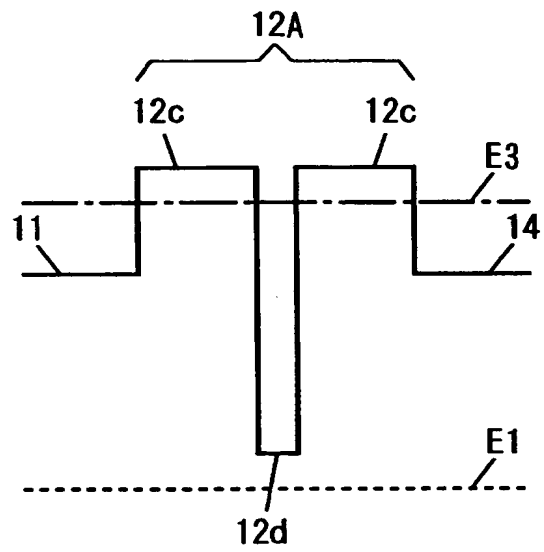
【図 1】



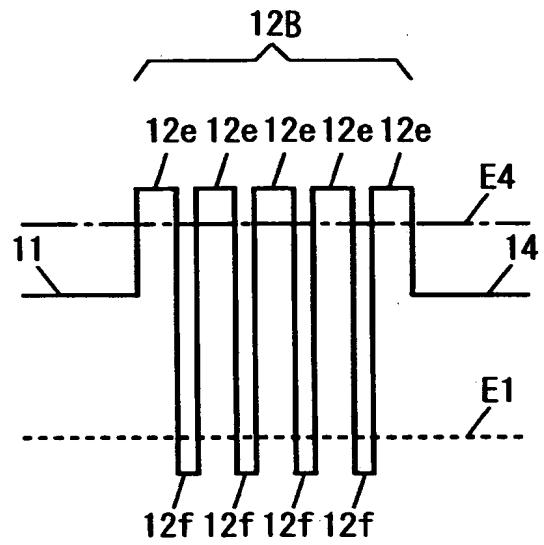
【図 2】



【図 3】

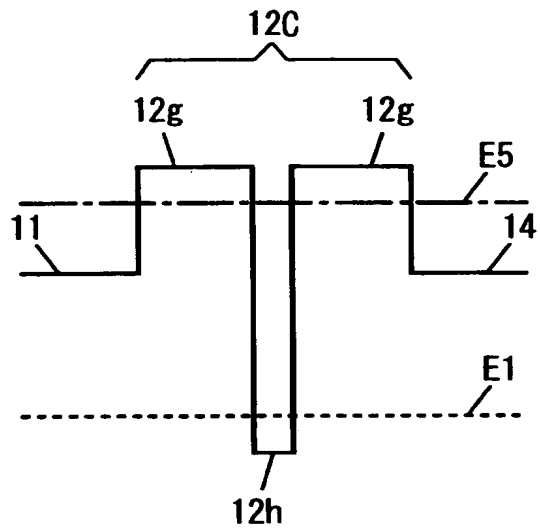


【図 4】

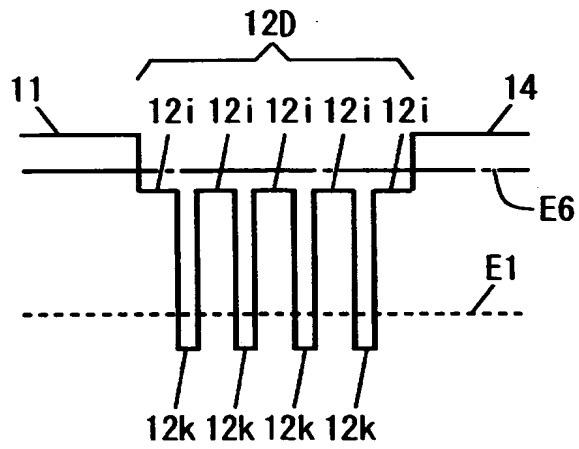




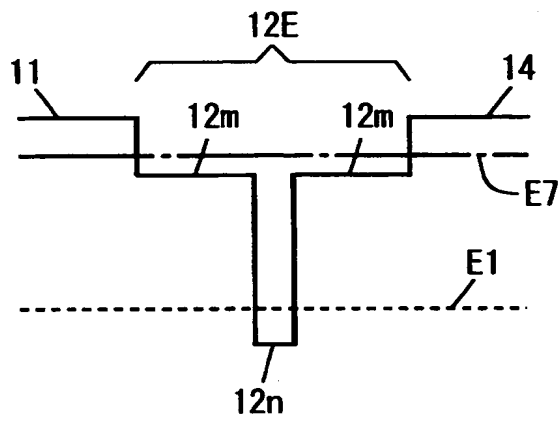
【图 5】



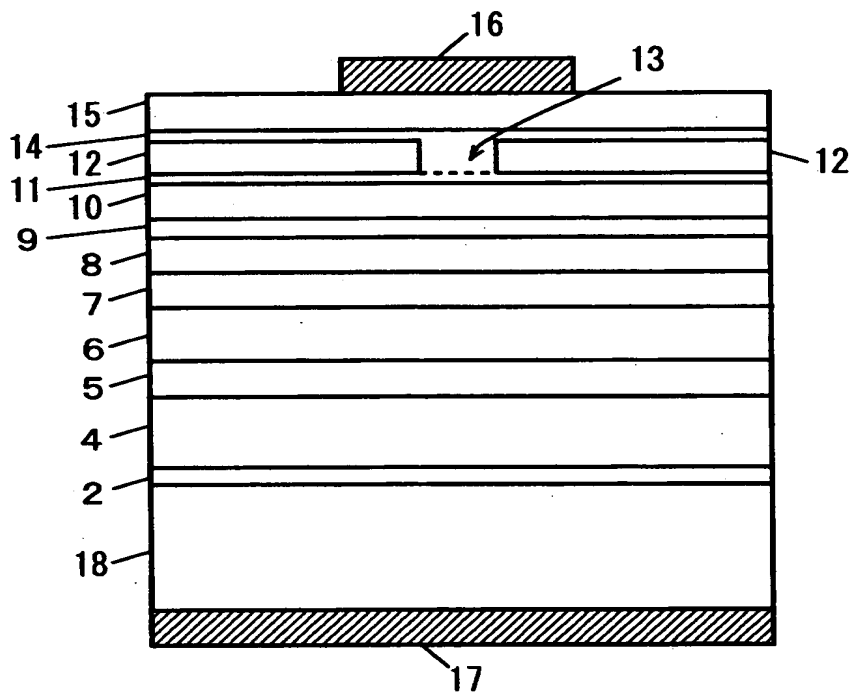
【图 6】



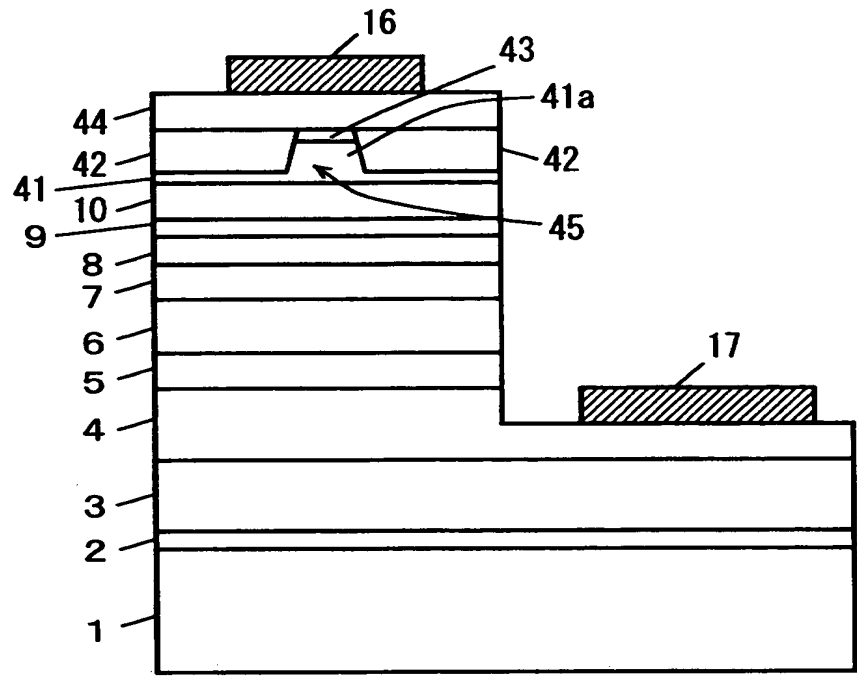
【図 7】



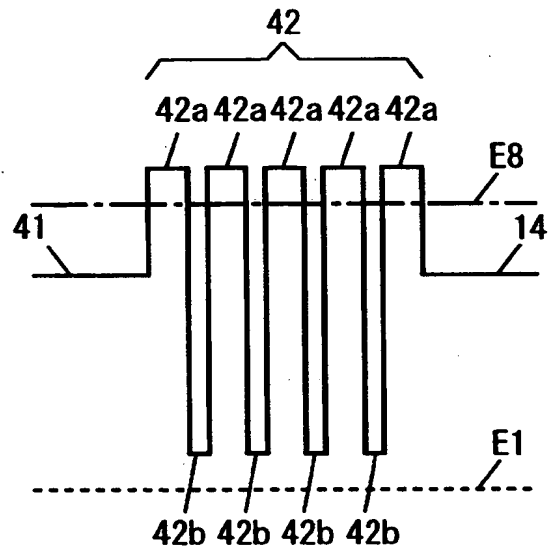
【図 8】



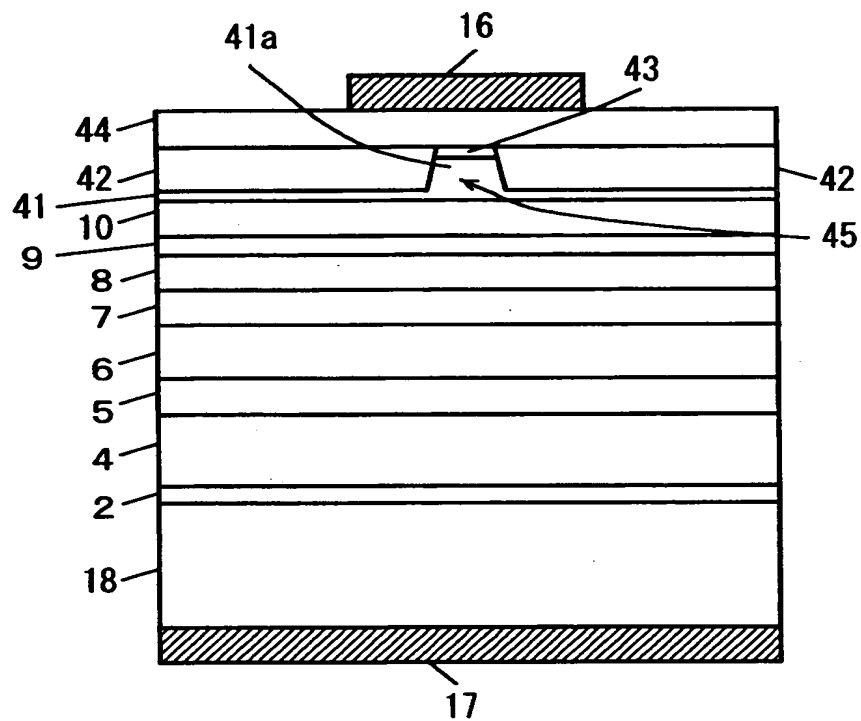
【図 9】



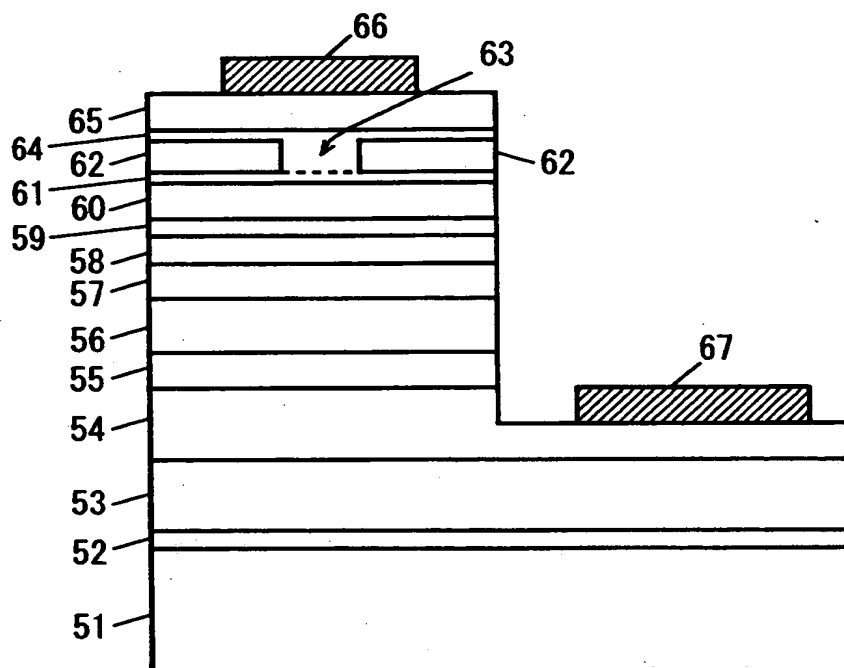
【図 1 0】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電流ブロック層の熱安定性を改善しつつ電流ブロック層にクラックが入りにくい半導体レーザ素子を提供することである。

【解決手段】  $A_1$  または  $B$  を含む  $n$ -第1電流ブロック層 12a と  $I_n$  を含む  $n$ -第2電流ブロック層 12b を交互に積層する。 $n$ -第2電流ブロック層 12b のバンドギャップを  $n$ -第1電流ブロック層 12a よりも小さく設定する。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日	1993年10月20日
[変更理由]	住所変更
住 所	大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
氏 名	三洋電機株式会社